

海洋公益性行业科研专项（201305038）基金资助

广东省省级科技计划项目（2013B021600015）基金资助

水下文物保存环境调查技术 与评估方法研究

——以福建平潭沉船区为例

张际标 陈春亮 梁春林 孙省利 编著

SHUIXIA WENWU BAOCUN HUANJING DIAOCHA JISHU YU
PINGGU FANGFA YANJIU
——YI FUJIAN PINGTAN CHENCHUANQU WEILI



海洋出版社

水下文物保存环境调查技术与 评估方法研究

——以福建平潭沉船区为例

张际标 陈春亮 梁春林 孙省利 编著



海洋出版社

2018年·北京

图书在版编目 (CIP) 数据

水下文物保存环境调查技术与评估方法研究: 以福建平潭沉船区为例/张际标等编著. —北京: 海洋出版社, 2018. 12

ISBN 978-7-5210-0250-8

I. ①水… II. ①张… III. ①沉船-考古技术-水下技术-研究 IV. ①K854.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2018) 第 264962 号

责任编辑: 赵 娟

责任印制: 赵麟芬

海洋出版社 出版发行

<http://www.oceanpress.com.cn>

北京市海淀区大慧寺路 8 号 邮编: 100081

北京朝阳印刷厂有限责任公司印刷 新华书店北京发行所经销

2018 年 12 月第 1 版 2018 年 12 月第 1 次印刷

开本: 787 mm×1092 mm 1/16 印张: 9.5 彩页: 5

字数: 160 千字 定价: 68.00 元

发行部: 62132549 邮购部: 68038093 总编室: 62114335

海洋版图书印、装错误可随时退换

目 录

第1章 绪 论	(1)
1.1 我国沿海沉船考古发现	(1)
1.2 项目研究背景	(2)
1.3 项目研究目标和研究内容	(5)
1.3.1 研究目标	(5)
1.3.2 研究内容	(6)
1.4 本项目研究思路和技术路线	(7)
1.4.1 研究思路	(7)
1.4.2 技术路线	(8)
第2章 海洋环境要素对水下文物保护影响	(10)
2.1 海洋环境基本特征	(10)
2.1.1 高盐含量	(10)
2.1.2 海况复杂	(12)
2.1.3 埋藏环境不可见	(12)
2.2 常规海洋环境要素对水下文物保护的影响	(13)
2.2.1 温度	(13)
2.2.2 盐度	(14)
2.2.3 悬浮物	(14)
2.3 潮流动力对水下文物的影响	(15)
2.4 海水化学要素对水下文物的影响	(15)
2.4.1 pH 值	(16)
2.4.2 溶解氧	(16)
2.4.3 侵蚀性阴离子(尤其是氯离子)	(17)

2.4.4	营养盐	(17)
2.4.5	金属类物质	(18)
2.4.6	有机物	(18)
2.5	海洋沉积环境要素对水下文物保护的影响	(19)
2.5.1	海洋沉积地质	(19)
2.5.2	沉积环境化学	(20)
2.5.3	微生物	(20)
2.6	大型海洋生物要素对水下文物保护的影响	(21)
2.7	典型沉船文物在海洋环境中的侵蚀特征	(22)
2.7.1	金属文物	(23)
2.7.2	木质文物	(28)
2.7.3	陶瓷类文物	(30)
第3章	沉船海域环境调查技术体系	(33)
3.1	沉船海域环境划分	(33)
3.1.1	沉船区环境区划	(33)
3.1.2	单一沉船点环境区划	(35)
3.2	沉船遗址环境调查要素	(36)
3.2.1	海洋水文动力调查要素	(36)
3.2.2	海水环境调查要素	(36)
3.2.3	海底沉积环境调查要素	(37)
3.2.4	海洋生物调查要素	(37)
3.3	沉船遗址环境调查技术体系	(38)
第4章	福建平潭海峡水下文物探测潜力	(40)
4.1	平潭海峡概况	(40)
4.2	平潭海峡区域交通史实分析	(41)
4.3	平潭海峡历史地位	(44)
4.4	平潭海峡水下文物探测潜力评估	(45)
第5章	福建平潭海域沉船区环境现状调查	(47)
5.1	平潭沉船区水文动力状况	(47)

5.1.1 水文动力状况	(47)
5.1.2 平潭海峡冲淤环境特征	(77)
5.2 平潭沉船区海水环境状况	(81)
5.2.1 调查简况	(81)
5.2.2 调查结果	(84)
5.3 平潭沉船区沉积环境状况	(86)
5.3.1 调查简况	(86)
5.3.2 调查结果	(87)
5.4 平潭沉船区生物生态状况	(91)
5.4.1 浮游生物	(91)
5.4.2 底栖生物	(93)
5.4.3 污损生物	(94)
第6章 福建平潭沉船海域保存环境评估	(102)
6.1 沉船海域环境评估方法	(102)
6.1.1 空间网格数据分级聚类	(102)
6.1.2 数据处理方法——变异系数法、熵值法、模糊数学综合评估法	(102)
6.1.3 综合评估方法——德尔菲法、层次分析法、主成分分析法	(106)
6.2 评估方法筛选	(114)
6.3 环境因子对水下文物影响	(116)
6.3.1 温度	(116)
6.3.2 pH 值	(116)
6.3.3 含水率	(117)
6.3.4 氧化还原电位	(117)
6.3.5 电阻率	(117)
6.3.6 含盐量	(118)
6.3.7 生物因子	(118)
6.4 评估指标体系的构建	(119)

6.5 评估标准	(120)
6.5.1 水和土的评估标准	(121)
6.5.2 土壤评估标准	(122)
6.6 水下文物保存环境评估方法应用示范——以平潭海峡为例	(123)
6.6.1 平潭海峡海水腐蚀性因子对文物侵蚀性评估	(123)
6.6.2 平潭海峡沉积物腐蚀性因子对文物侵蚀性评估	(124)
6.6.3 平潭海峡生物要素对文物侵蚀性评估	(125)
6.6.4 平潭海峡潮流动力对水下文物破坏程度评估	(128)
第7章 水下文物原址保护适宜性评估——以平潭海峡为例	(129)
7.1 评估范围	(129)
7.2 海峡的形成与演变	(129)
7.3 动力条件	(130)
7.3.1 潮汐与潮流	(130)
7.3.2 风与波浪	(131)
7.4 地形地貌与沉积	(132)
7.4.1 海底地形地貌	(132)
7.4.2 海底沉积物	(134)
7.5 原址保护适宜性评估方法	(135)
第8章 结 语	(137)
参考文献	(140)
彩 图	(147)

第1章 绪 论

1.1 我国沿海沉船考古发现

纵观世界历史发展轨迹，历史强国都是由大陆走向海洋、从海洋走向世界，最终走向强盛。陶瓷器作为中国古代文化的代表深受西方各国的喜爱。其大规模的输出为中外文明的交流做出了巨大贡献，而这一过程的实现正是通过海运完成的。在唐、宋、元、明、清历代陶瓷贸易过程中形成相对稳定的航线，这条航线后来被日本学者称为“陶瓷之路”。由于古代造船技术和航海技术比较落后，在面临复杂海洋气象环境时沉船事故时常发生。我国传统考古学研究主要集中在陆地性农耕文化及黄河、长江流域，而海洋考古发掘由于各方面限制而不被重视。

20 世纪 80 年代，英国人哈彻在我国南海盗掘一条明代沉船，由于当时我国水下文物保护工作机制不够完善，沉船中数以万计的珍贵文物流失海外，海洋水下考古发掘工作自此受到有关部门的重视，此后开展了不同规模和性质的水下考古调查发掘工作。以中国国家博物馆网站公布的具有代表性的沉船为例，笔者通过搜集相关文献对这些沉船及沉船环境信息进行简单统计。主要包括：辽宁省绥中三道岗沉船（元代），位于大南铺村东南约 3 n mile，船体只保留上半部分，附近有礁石，属商贸船，有陶瓷器、铁器（陶瓷器有较多完整保存）；山东省胶南鸭岛沉船（明代），位于琅琊台海域鸭岛附近，船体已不存在、有凝结物分布，附近有礁石，属商贸船，有青花瓷器、铁锅、石碇（瓷器有较多完整保存）；浙江省渔山小白礁沉船（清代），位于宁波市象山县石浦镇东南约 26 n mile 处的渔山列岛海域，船体只保留上半部分、部分构件存在，附近有礁石，属商贸船，有陶瓷器、铜、锡、银、石、木（陶

瓷器有较多完整保存);福建省连江定海“白礁一号”沉船(宋元),位于连江定海村东北约 350 m、黄岐湾水域的一处近岸岛礁,船体只剩龙骨、有大型凝结物块,附近有礁石,属商贸船,有瓷器、金属(瓷器有较多完整保存、有大型凝结物块);福建省东山冬古湾战船(明末清初),位于福建省东山县古湾海滩,船体只剩龙骨、有大型凝结物块,附近为沙滩,属战船,有陶瓷器及古代作战类用具,瓷器有较多完整保存、铁器为大型凝结物块;广东省汕头“南澳一号”沉船(明代),位于汕头南澳岛东南三点金海域的乌屿和半潮礁之间,船体部分保存完整、尚存有多道隔仓,附近有礁石,属商贸船,有陶瓷器、铜钱、锡壶、木质秤杆、戒指、围棋棋子、果核,文物种类丰富、大多数保存完整;广东省台山“南海一号”沉船(宋代),位于广东阳江市上下川岛附近海域,船体保存较为完整、深埋沉积物中,属商贸船,有陶瓷器、金属器、漆木器等,大部分文物保存完整;海南省西沙群岛“华光礁一号”沉船(南宋),位于西沙群岛,船体部分保存完整、尚存有多道隔仓,附近有礁石,属商贸船,以陶瓷器为主,另有铁器和少量铜镜残片,大部分文物保存完整。

通过海底沉船信息可以发现:沉船发现地址分布较广泛,但最为集中的还是“海上丝绸之路”经过的海域,据推测仅在南海就有 2 000 艘以上的古代沉船;沉船绝大部分为商贸船,所载货物以陶瓷器最多,主要用于国外贸易,此外还有船员所使用的日常用品如铁锅、锡壶、木质秤杆、戒指、围棋棋子等;沉船年代最早的可以追溯到宋代,并且沉船上所发现的部分陶瓷器的完整程度与年代无关,而与陶瓷器本身的质地、沉船瞬间所遭遇的气象和海洋地理状况有关;发现沉船的位置大部分位于近海海域,并且所在地址附近都有礁石存在。

1.2 项目研究背景

文物是人类长期存在过程中从事物质和精神活动的遗留物,是古代人类生活的遗存,含遗物和遗迹。水下文物通常是指位于水下的具有文化、历史或考古价值的所有人类生存的遗迹。水下文物是历史的一个重要侧面,是人

类共同的文化遗产的组成部分。

中国有着长达 18 000 km 的漫长大陆海岸线,数量众多的内陆河流、湖泊,有世界上最古老悠久的历史文明,时光变迁,无数的历史之谜被掩盖于水下。其中许多目前都面临着自然损坏和人为破坏的危险,使水下蕴藏的许多珍贵的历史信息可能完全丧失。随着社会经济的不断发展,水下文物亟待详细的调查、科学的规划管理和合理的开发保护。然而,目前我国水下文物探测和保护缺乏系统性,管理缺乏规范性,诸多文物的探测和监测、保存环境调查和评估等关键技术问题亟待解决。因此,开展水下文物环境现状调查和环境评估技术方法的研究尤其迫切。

随着我国多次大范围海洋调查项目的实施,海洋环境的常规调查和监测技术日益成熟,形成了诸如《海洋调查规范》(GB/T 12763—2007)、《海洋监测规范》(GB 17378—2007)等一系列关于海洋调查和监测技术的规范性指南和标准。然而,由于水下文物本身具有珍贵的历史、文化、科学价值及其遗存范围小、透明度低等环境的特殊性,其环境调查必然面临气象条件、水文条件、采样技术等多种因素限制,具有更大的艰巨性和挑战性,因此其环境调查的内容和技术与常规海洋环境调查有其特殊性。为了更有效地针对水下文物的保护和管理,全面反映水下文物保存环境的真实状况,在诸如调查区域和站位的确定、调查参数的筛选、调查方法和技术的选择及调查方式和作业程序等均需有特殊的要求和规定,非常需要有针对性水下文物环境调查的指导性技术方法。因此,开展水下文物环境调查技术方法的研究非常有必要。

文物保存的完好程度决定于两个方面,即文物材料的自身特性和文物所处的环境。对海洋中埋藏的水下文物而言,海流、沉积环境、海水腐蚀及生物附着和侵蚀等是导致水下文物发生腐变和遭受破坏的主要环境要素。其中,对埋藏在复杂海域的水下沉船等文物,在强海流的作用下经常发生位移或遭到损毁,而使其珍贵的文物价值大大降低;而在悬浮物含量高的海域,由于较强的沉积作用而导致水下文物完全没入沉积层中可能永远消失;同时,海水环境的高盐、良好导电等特征使其具有强烈的侵蚀性,通过腐蚀、海藻定植、沙子磨蚀、水解作用等侵蚀过程,许多水下文物因此而遭受不同程度的

破坏；此外，海洋生物可通过分泌固化的黏液层和含有硅酸盐、石灰质化合物的黏合性物质附着在水下文物上，极易导致文物发生机械形变而使其价值大大降低甚至完全损毁。

由于我国水下文物考古和发掘等工作开展相关工作时间较短，对水下文物所处环境现状的调查、评估以及海洋环境要素对水下文物保存的影响规律等方面尚缺乏系统性的研究。因此，开展水文动力、沉积特征、埋藏环境、海水化学、海洋生物等环境要素的现状调查及其对水下文物影响研究，可为水下文物确定是原址保护还是抢救发掘提供重要的参考信息，非常必要。

为此，国家海洋局海洋公益性行业科研专项经费项目于2012年启动了“水下文物探测、保护技术体系研究与示范”的研究项目，该公益性研究项目包含以下8个方面的子任务。

①水下文物探测、保护体系研究（201305038-1）。承担单位：国家海洋局第三海洋研究所。

②东南沿海水下文物保护现状与评估（201305038-2）。承担单位：中国文化遗产研究院。

③水下文物声学探测、保护设备研制与试验（201305038-3）。承担单位：中国船舶重工集团公司第七一五研究所。

④水下文物探测的监视监测和警戒平台（201305038-4）。承担单位：中国海监第六支队。

⑤水下文物调查与集成（201305038-5）。承担单位：福建省博物院。

⑥水下文物保存环境评估方法研究（201305038-6）。承担单位：广东海洋大学。

⑦东南沿海水下文物资料收集与研究（201305038-7）。承担单位：福州大学。

⑧水下文物保护对策研究（201305038-8）。承担单位：厦门市博物馆。

本书内容则是“水下文物探测、保护技术体系研究与示范”总项目中子任务6——“水下文物保存环境评估方法研究”开展研究后，在水下文

物保存环境的调查技术和水下文物保存环境的评估方法等方面获得的研究成果。

1.3 项目研究目标和研究内容

1.3.1 研究目标

(1) 总项目研究目标

水下文化遗产是不可再生的文化资源,保护并继承这些珍贵的水下文化遗产,深入挖掘其历史、艺术和科学价值,是落实国家海洋文化发展战略、弘扬中华民族优秀文化、增强民族凝聚力的需要。通过分析我国东南沿海水下文物分布状况,确定目标海域开展水下文物探测、环境调查和保护管理等方面研究工作;以现代海洋调查手段为基础,集成具有自主知识产权的浮标监测系统和相控阵三维声学摄像声呐,进行水下文物探测和监控技术研究;开展地质、水文、化学、生物等学科综合环境现状调查和保护管理技术研究工作;建立有效水下文物探测技术方法、环境保护评估方法和保护管理对策,并加以应用示范。本项目将海洋调查、研究技术手段与水下文化遗产保护和管理相结合,立足建立规范的水下文化遗产探测、环境调查、保护和管理等技术方法,为水下文化遗产的调查、保护、管理提供科学指导,为今后水下文物普查工作提供技术支撑。

(2) 子任务研究目标

以我国东南沿海水下文物为研究对象,调查水下文物埋藏海域水文动力、沉积特征、海洋化学、海洋生物等环境要素现状,研究各环境要素对水下文物保护的影响规律,确定水下文物保存环境的适宜性分级依据,为水下文物原址保存或抢救性发掘提供科学依据,在调查和研究的基础上评估水下文物环境保存现状,编制水下文物保存环境调查和评估技术方法,为我国水下文物研究、保护和管理提供有力支撑,从而更好地保护我国珍贵的水下文物,将国家海洋发展战略落到实处。

1.3.2 研究内容

1) 总项目的研究内容

(1) 海洋水下文物保护现状与评估

①收集东南沿海历史文献档案资料、文物考古资料、地图资料（如海图、卫星影像、水下障碍物的测绘与文字资料）、渔民访谈线索、水域地形资料、水域环境资料。

②对收集资料进行初步整理，在地理信息系统（Geographic Information System, GIS）框架内对相关材料进行叠加分析，形成优先策略支持系统，为后续研究选定数个目标区域。

③分析我国海洋水下文物保护现状及存在的问题，提出加强相关保护建议及对策。

(2) 水下文物探测与监测装备自主集成

①水下文物保护的监测与预警设备。

②相控阵三维声学摄像声呐。

(3) 水下文物探测技术与方法研究

①水下文物目标的探测方法集成研究。

②水下文物目标物的特征信息提取方法研究。

③目标物水下机器人及人工探摸识别技术。

④建立基于不同类型的水下文物探测技术体系。

(4) 水下文物保护自然环境条件评估

①水下文物沉积过程及埋藏保护环境调查研究。

②水下文物水文动力及水体保护环境调查研究。

③建立水下文物环境调查和评估技术指南（草案）。

(5) 研究水下文物保护方案

(6) 技术体系应用示范

2) 本项目的研究内容

①环境要素对水下文物保护影响的调查与研究。收集已挖掘水下文物的历史环境资料,结合水下文物保存环境现状调查结果,开展水文动力、沉积过程、水体环境、海洋生物等环境要素对木质、瓷质、铁质等各类水下文物保存环境的影响规律研究,确定不同类型环境要素对水下文物保存环境适宜性分级方法,编制环境要素对水下文物保护影响研究报告。

②建立水下文物保存环境调查技术方法。根据水下文物海域环境现状调查实践和调查结果,在补充和完善水下文物保存环境调查技术的基础上,编制水下文物保存环境调查技术方法研究报告。

③建立水下文物保存环境评估技术方法。根据水下文物海域环境现状调查结果,结合水文动力、沉积过程和埋藏环境、水体环境、底栖生物等环境要素对水下文物保存影响规律的研究结果,筛选水下文物保存环境评估技术方法和关键环境参数,综合评估水下文物保存的环境适宜性,建立水下文物保存环境评估技术体系,编制水下文物保存环境评估技术方法研究报告。

1.4 本项目研究思路和技术路线

1.4.1 研究思路

本项目拟通过已有水下文物资料、相关数据及评估方法的集成与分析,研究各环境要素对水下文物保护的影响规律,建立水下文物保存环境调查技术体系,并调查福建平潭海域水下文物埋藏海域水文动力、沉积特征、海水化学、海洋生物等环境要素现状;开展各环境类型对水下文物侵蚀性评估方法研究,确定水下文物侵蚀性环境的评估标准;根据历史资料集成成果和现状调查结果,结合侵蚀性评估标准,评估福建平潭海域水下文物埋藏区环境的侵蚀性,并对该区水下文物原址保护的适宜性进行评估,为我国水下文物研究、保护和管理提供有力支撑,从而更好地保护我国珍贵的水下文物,将国家海洋发展战略落到实处。

1.4.2 技术路线

根据本项目研究目标和研究内容，“水下文物保存环境评估方法研究”采用的技术路线如图 1-1 所示。

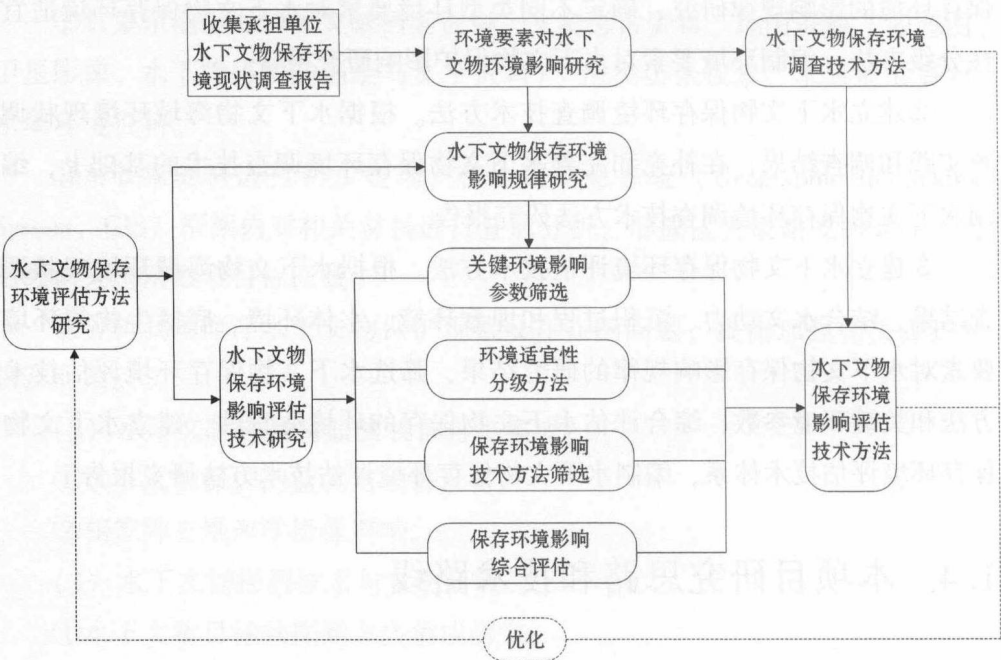


图 1-1 本项目研究采用的技术路线

①水下文物历史资料的收集、分析和集成。收集国内外关于水下文物的探寻、环境调查、考古挖掘、文物保护等方面的现状与历史资料；分析不同环境类型下水下文物的变化特征；集成并分析不同海洋环境要素对水下文物的影响。

②构建水下文物埋藏环境调查技术。集成历史资料和相关成果，筛选对水下文物影响显著的特征环境要素，精简调查水下文物埋藏环境的海洋环境要素，构建水下文物埋藏环境调查的技术体系，并对福建平潭海域水下文物埋藏区开展海洋环境调查。

③构建海洋环境对水下文物侵蚀性评估方法。根据历史资料的集成结果，

评估不同海洋环境要素对水下文物的影响程度,构建不同环境类型对水下文物侵蚀性评估;并对福建平潭海域水下文物埋藏区环境进行侵蚀性水平评估。

④水下文物原址保存的适应性评估。针对福建平潭海域的环境现状和特征,研究水下文物原址保存对环境的依赖性,评估该区埋藏环境是否适合水下文物原址继续保存。

第2章 海洋环境要素对水下 文物保护影响

2.1 海洋环境基本特征

海洋环境有别于陆域淡水环境、土壤环境和大气环境,从文物保护的角度看,海洋环境强潮流动力、强电解质、高氯含量及海生物丰富等环境特征对水下文物的遗存完好程度影响较大。此外,埋藏环境不可见也是影响水下文物打捞挖掘及后期保护的重要因素之一。

2.1.1 高盐含量

海水是一种化学成分复杂的混合溶液,包括水、溶解于水中的多种化学元素和气体。海水的成分很复杂,其中的化学元素含量差别也很大。依其含量可分为3类:常量元素、微量元素和痕量元素。除氢和氧外,每升海水中含量在100 mg以上的元素有氯、钠、镁、硫、钙、钾、溴、碳、锶、硼、氟11种元素,一般称为“常量元素”。每升海水含有1~100 mg的元素称为“微量元素”,如铁、钼、铷、铯、碘等。每升海水中含量在1 mg以下的元素称为“痕量元素”,如金、银、镉等。常量元素约占化学元素总含量的99.9%,其他化学元素含量极小。溶解于海水中的化学元素绝大多数是以离子的形式存在,其中氯化物最多,占88.6%;硫酸盐占10.8%。海水的常量元素之间的浓度比例几乎不变,具有恒定性,这对于研究海水各组分的含量具有重要意义。

根据海水主要元素的组成恒定性规律,海水盐度的高低体现的是海水中溶解物质含量的高低,尤其是所含阳离子和阴离子的含量高低。海水的平均